

# Рішення компанії SV Microwave/Amphenol у галузі радіочастотних з'єднань

У статті показано результати робіт з удосконалення радіочастотних з'єднань, виконаних нещодавно американською компанією SV Microwave/Amphenol [1]. Розглянуто конструкцію, електричні параметри та номенклатуру з'єднувачів SMPM з граничною частотою 65 ГГц для роботи в бортовій апаратурі за підвищених вібраційних та ударних навантажень. Показано конструкцію та параметри з'єднання друкованих плат за відстані між ними 3 мм, що стало можливим завдяки застосуванню надмініатюрного адаптера розетка-розетка («bullet»).

Радіочастотні з'єднувачі з інтерфейсом SMPM, розглянуті в цій статті, створені компанією SV Microwave. Ця компанія є світовим лідером у галузі НВЧ-мікроелектроніки, що має понад 50-річний досвід роботи зі створення радіочастотних з'єднувачів, кабельних збірок і різних пасивних компонентів, призначених для військових систем, Інтернету речей, 5G, супутникових, високошвидкісних, аерокосмічних, комерційних і телекомунікаційних застосувань. У травні 2005 року SV Microwave була придбана великою корпорацією Amphenol, і відтоді її називають SV Microwave/Amphenol.

## РОЗРОБЛЕННЯ З'ЄДНУВАЧІВ SMPM З ГРАНИЧНОЮ ЧАСТОТОЮ 65 ГГц ДЛЯ РОБОТИ ЗА ПІДВИЩЕНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ТА УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

### Стандартні з'єднувачі SMPM

У 1990 році компанія Corning Gilbert, США, розробила мікромініатюрні з'єднувачі GPPO з граничною частотою 65 ГГц, що з'єднуються зацепленням (замиканням). Сьогодні ці з'єднувачі випускають десятки компаній усього світу під власними фірмовими назвами: SMPM, MINI-SMP тощо. (далі — SMPM — «sub-miniature push-on, micro»). Розроблено з'єднувачі SMPM з повним і обмеженим зацепленням (замиканням) та ковзним з'єднанням вилки і розетки. Інтерфейс з'єднувачів SMPM відповідає стандарту MILSTD-348A (рис. 1).

На сьогодні існують такі модифікації з'єднувачів SMPM:

- прямі та кутові кабельні та приладово-кабельні з'єднувачі, призначені для роботи з напівжорстким кабелем 0.085" (RG-405) і 0.047", а також із гнучким кабелем, який формується вручну;
- вилки приладів, що монтуються у стінки корпусів виробів з алюмінієвих і титанових сплавів: впаювані, під лазерне зварювання, різьбові та запресовувані в корпуси;
- вилки для встановлення в отвори друкованих плат, для поверхневого монтажу на платі і кінцеві;
- адаптери розетка-розетка, які називають «bullet», для з'єднання «наосліп», що забезпечують гнучкий зв'язок між вилками, встановленими

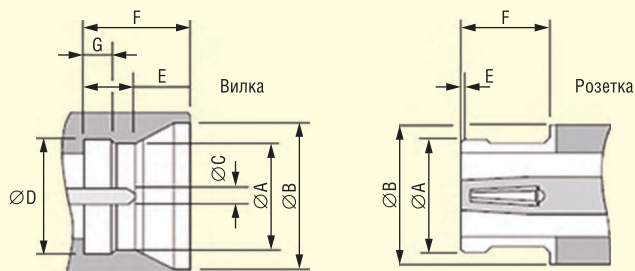
на різних платах, і дають змогу компенсувати неспіввісність між вилками на з'єднуваних платах. Довжина адаптерів «bullet» залежить від необхідної відстані між платами;

- міжсерійні адаптери для сумісності зі з'єднувачами інших типів: SMA, 3.5 мм, 2.92 мм, 2.4 мм і 1.85 мм.

Зовнішній вигляд з'єднувачів SMPM основних модифікацій показано на рисунку 2, а їхні основні параметри наведено в таблиці 1.

Завдяки мініатюрності (вага з'єднувача становить десять частки грама) і високому рівню електричних параметрів ці з'єднувачі знайшли застосування в складних багатофункціональних модулях НВЧ з високою щільністю компонування.

Однак, попри високий рівень параметрів з'єднувачів SMPM, розробники спеціальних бортових систем побоюються, що з'єднання зацепленням (замиканням) може не витримати високі вібраційні та ударні навантаження. Щоб підвищити надійність з'єднувачів, провідні компанії розробили свої власні виробы, в яких з'єднання (сполучення) вилки і розетки зацепленням посилено іншими способами з'єднання (різьбовим, байонетним або другим зацепленням).



	Вилка		Розетка	
	min	max	min	max
A	2.11	2.16	-	2.41
B	2.82	2.92	-	2.79
C	0.28	0.33	-	-
D	2.18	2.24	-	-
E	0.76	1.14	0	0.20
F	2.08	2.13	1.73	-
G	0.53	0.58	-	-

Рис. 1. Інтерфейс вилки (для повного зацеплення (замикання)) і розетки з'єднувачів SMPM

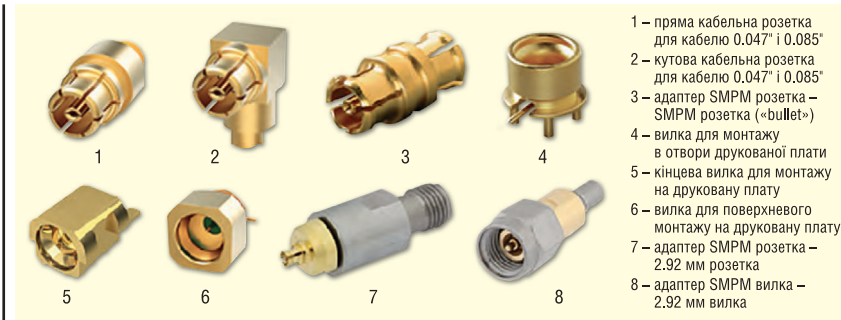


Рис. 2. З'єднувачі SMPM

Таблиця 1. Параметри з'єднувачів SMPM	
Параметр	Значення параметра
Хвильовий опір, Ом	50
Робочий діапазон частот, ГГц (DC — direct current, постійний струм)	DC...65 (прямі з'єднувачі), DC...40 (кутові з'єднувачі)
Робоча напруга, В (на рівні моря)	170...325
Напруга пробою, В (на рівні моря)	500
Максимальний КСХН (у діапазоні частот, ГГц)	1.15 (0...10); 1.25 (10...26.5); 1.35 (26.5...50); 1.50 (50...65)
Величина втрат на частоті $f$ , ГГц	$0.12\sqrt{f}$
Екранне загасання, дБ (у діапазоні частот $f$ , ГГц)	-80 (0...3)
Мінімальний опір ізоляції, МОм	5000
Допустима потужність, що пропускається, Вт (на частоті, ГГц) за температури 25 °С	16 (1)
Робочий діапазон температур, °С	-65...+165
Допустимі радіальне й аксіальне зміщення між осями вилки та розетки під час з'єднання, мм	0.25
Зусилля з'єднання/роз'єднання, Н	11/6.7 — ковзне з'єднання, 20/29 — повне защеплення
Допустима кількість циклів з'єднання/роз'єднання	100 (повне защеплення), 500-1 000 (ковзне з'єднання)

**Примітки:**  
 1. Величини КСХН, втрат і екранного загасання, наведені в data sheet різних виробників з'єднувачів SMPM, помітно відрізняються.  
 2. У специфікаціях часто наводять значення напруги з'єднувача без уточнення його виду. Є 3 види напруги з'єднувача: напруга пробою (*Breakdown Voltage*), випробувальна напруга (*DWV — Dielectric Withstanding Voltage*) і максимальна робоча напруга (*Working Voltage*). Напруга пробою — це максимальна напруга, яку може витримати з'єднувач без значного зростання струму витoku і руйнування. Випробувальна напруга — це максимальна напруга, за якої має бути протестований з'єднувач. Вона становить 75 % від напруги пробою з'єднувача. Робоча напруга — максимальна напруга, за якої з'єднувач має працювати із заданими параметрами протягом усього терміну служби. Робоча напруга становить 1/3 від випробувальної напруги і залежить як від конструкції з'єднувача, так і від конкретних умов експлуатації. Зокрема, у разі зазначення робочої напруги в специфікації мають бути наведені значення атмосферного тиску на рівні моря або на висоті 70 000 футів (21.3 км) і температури.

Компанія SV Microwave/Amphenol також розробила лінійку різьбових (нарізних) з'єднувачів SMPM для роботи за підвищеної вібрації з високим рівнем електричних і механічних характеристик.

**Різьбові з'єднувачі SMPM**

Оскільки під час впливу вібраційних і ударних навантажень надійність з'єднання защепленням поступається різьбовому з'єднанню, поступувалося рішенням об'єднати обидва ці з'єднання в конструкції з'єднувача SMPM. Уперше різьбове з'єднання на додаток до з'єднання защепленням застосувала компанія Astrolab, яка розробила з'єднувачі SMPM-T. У кабельному з'єднувачі-розетці SMPM-T стандартний інтерфейс SMPM доповнили різьбовою втулкою, яку встановлюють на ка-

бель, а приладовий з'єднувач-вилка виконано із зовнішньою різьбою на корпусі (рис. 3).

З'єднувачі SMPM-T вирізняються високою стійкістю до ударів і вібра-

ції, надійною фіксацією і покращеним екрануванням (екранне загасання, в порівнянні зі звичайними з'єднувачами SMPM, вище на 10 дБ). У разі потреби з'єднувачі SMPM-T і SMPM можуть без обмежень з'єднуватися один з одним.

Однак таке конструктивне рішення з'єднувача SMPM-T не універсальне, воно можливе тільки для прямих кабельних з'єднувачів і неможливе для кутових з'єднувачів.

Компанія SV Microwave/Amphenol запропонувала встановити різьбову втулку безпосередньо на кабельний з'єднувач-розетку, а приладову вилку, як і в попередньому випадку, виконати із зовнішньою різьбою на корпусі. Таке рішення універсальне, оскільки може бути застосоване як до прямих, так і до кутових з'єднувачів. Різьбова втулка, виготовлена з нержавіючої сталі, має такі розміри: зовнішній діаметр 4.57 мм, довжина приблизно 6 мм, різьба 0.148-56 UNS (зовнішній діаметр різьби 3,76 мм, крок різьби 0.45 мм).

Було розроблено 8 модифікацій різьбових з'єднувачів SMPM (табл. 2). У таблиці представлені вилки для ковзного з'єднання з відповідною кабельною розеткою (позиції 5 і 6). На замовлення споживача такі вилки можуть бути виготовлені для з'єднання з відповідною кабельною розеткою повним защепленням.

Різьбові кабельні з'єднувачі, в яких використано поєднання ковзного і різьбового з'єднань, мають низькі зусилля стикування і розстикування розетки і вилки. З'єднувачі випробовують за стандартом MIL-STD-202 методами 204 і 213. Ці методи використовують у випробуваннях на вплив вібрації та ударів для виробів авіаційного та космічного призначення. Різьбові з'єднувачі SMPM, природно, коштують дорожче за стандартні аналоги в 1.2-1.8 разів. При цьому найбільш помітно зростає вартість різьбових кабельних з'єднувачів, прямих і кутових.

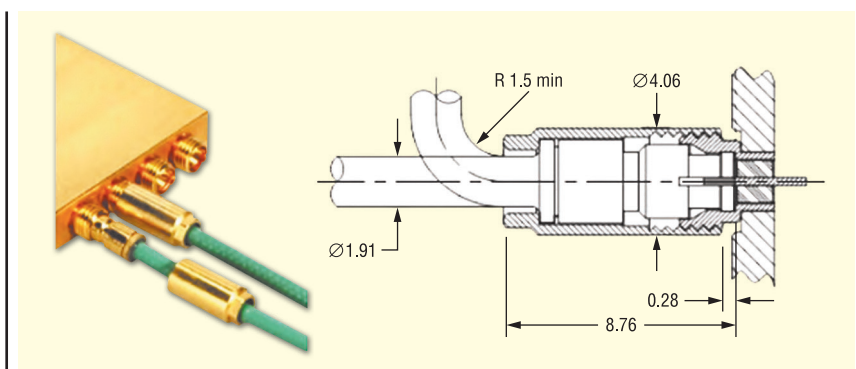


Рис. 3. З'єднувач SMPM-T

Таблиця 2. Різьбові з'єднувачі SMPM компанії SV Microwave/Amphenol				
№ п/п	Позначення з'єднувача	Тип з'єднувач	Параметри	Зовнішній вигляд
1	3221-60016	Пряма кабельна розетка для кабелю 0.085" (RG-405)	Робочий діапазон частот: 0...40 ГГц. КСХН: 1.25 (DC...26.5); 1.3 (26.5...50). Втрати на частоті, $f$ , ГГц — $0.07\sqrt{f}$	
2	3221-60017	Пряма кабельна розетка для кабелю 0.047"		
3	3222-40059	Кутова кабельна розетка для кабелю 0.085" (RG-405)	Робочий діапазон частот: 0...26.5 ГГц. КСХН: 1.1 (DC...26.5)	
4	3222-40060	Кутова кабельна розетка для кабелю 0.047"		
5	3211-60298	Вилка для встановлення в отвори друкованої плати для ковзного з'єднання з розеткою	Робочий діапазон частот: 0...40 ГГц. КСХН: 1.25 (DC...26.5); 1.3 (26.5...40). Втрати на частоті, $f$ , ГГц — $0.07\sqrt{f}$	
6	3211-40121	Кінцева вилка для ковзного з'єднання з розеткою		
7	1132-6108	Адаптер SMPM розетка — 2.92 мм розетка	Робочий діапазон частот: 0...40 ГГц. КСХН: 1.25 (DC...26.5); 1.3 (26.5...40). Втрати на частоті, $f$ , ГГц — $0.07\sqrt{f}$	
8	1132-6109	Адаптер SMPM вилка — 2.92 мм розетка		

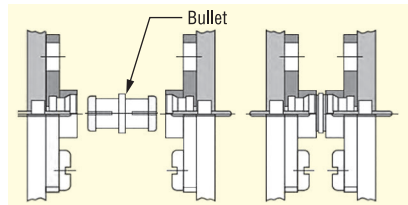


Рис. 4. З'єднання друкованих плат за допомогою адаптера «bullet» і двох з'єднувачів SMPM вилка

плат і модульних конструкцій, оскільки його довжина визначає відстань між друкованими платами, що з'єднуються. Тому для зменшення відстані між платами, що з'єднуються, компанії прагнуть максимально зменшити довжину адаптера «bullet» (табл. 3).

Рекордсменом у сфері мініатюризації адаптерів «bullet» є компанія SV Microwave/Amphenol. Не так давно ця компанія повідомила про створення адаптера «bullet» з довжиною корпусу лише 2.48 мм, що забезпечує з'єднання плат, віддалених одна від одної на відстань біля 3 мм (мін. 2.88 мм, макс. 3.0 мм), для пристроїв із високою щільністю компонування. Однак, на відміну від стандартних адаптерів «bullet» розетка-розетка, розроблений компанією SV Microwave/Amphenol мікромініатюрний «bullet» є адаптером вилка-вилка. Це зумовлено конструктивною і технологічною складністю створення цангових контактів розетки за таких малих розмірів адаптера.

Конструкція адаптера вилка-вилка показана на рисунку 5а. Застосування цього адаптера для з'єднання друкованих плат вимагало повністю змінити конструкцію і технологію з'єднання. Було розроблено корпуси вилок (без ізолято-

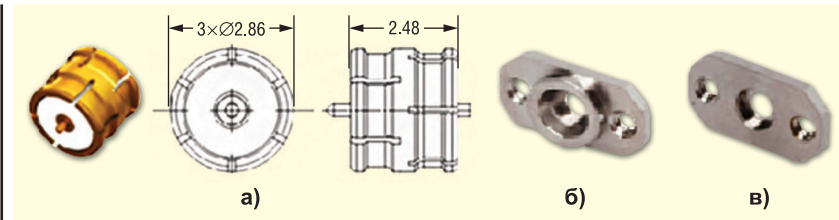
### З'ЄДНАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАДМІНІАТЮРНОГО АДАПТЕРА «BULLET» КОМПАНІЇ SV MICROWAVE/AMPHENOL

З'єднувачі SMPM привернули увагу розробників виробів НВЧ-мікроелектроніки ще й тому, що вони забезпечують швидке з'єднання друкованих плат без застосування радіочастотних кабелів за допомогою адаптерів розетка-розетка «bullet». Для цього на кожній із друкованих плат, що з'єднуються, встановлюють з'єднувач SMPM вилка, а з'єднання плат здійснюють за допомогою адаптера «bullet» з двома цанговими центральними провідниками, закріплені у фторопластовому ізоляторі, встановленому в корпусі адаптера (рис. 4).

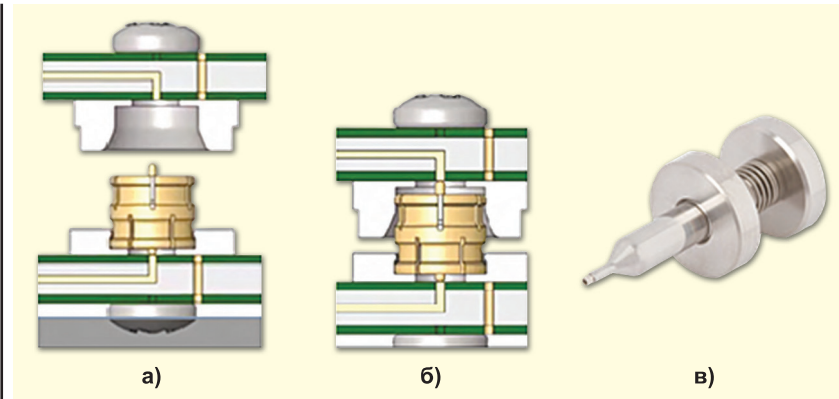
Адаптер «bullet» забезпечує надійне з'єднання і компенсує радіальну та осьову неспіввіднесеність до 0.25 мм з'єднувачів

SMPM вилка, встановлених на друкованих платах. Він є ключовим елементом при створенні компактного з'єднання

Таблиця 3. Розміри адаптерів «bullet»					
Зовнішній вигляд	Компанії-виробники				
	SV Microwave/Amphenol	Corning Gilbert	Micro Mode	Cristek	Delta
<p>Адаптер «bullet» розетка-розетка</p>	Розміри «bullet», мм				
	№ 3290-4003 A=2.74, L=8.3	L=5.3...16.4	L=4.5...22.9	L=4.1...16.5	L=5.33...8.0
	№ 3290-4002 A=2.74, L=5.36				
	№ 1132-4021 A=2.41, L=4.57				
	№ 1132-4010 A=2.31, L=4.22				
	№ 1180-4010				
A=2.86, L=2.48					



**Рис. 5.** Адаптер «bullet» № 1180-4010 компанії SV Microwave/Amphenol (а), Shroud FD № 012-80-487/020 (б), Shroud SB № 012-80-488/020 (в)



**Рис. 6.** Ковзне з'єднання адаптера «bullet» з нижньою друкованою платою (а), повне защеплення адаптера «bullet» з верхньою друкованою платою (б), інструмент для роботи з адаптером «bullet» (в)

рів і цангових центральних провідників), що імітують інтерфейси повного защеплення і ковзного з'єднання, названі Shroud: Shroud FD (Full Detend — повне защеплення) і Shroud SB (Smooth Bore — ковзне з'єднання). Корпуси Shroud виготовлено з пасивованої нержавіючої сталі, вони мають різьбові отвори для кріплення гвинтами на друковані плати (рис. 5б,в).

Shroud для ковзного з'єднання встановлюють на одній друкованій платі, а Shroud для повного защеплення (замикання) — на протилежній. Процес з'єднання плат ілюструють рисунку 6а, бб. Для роботи з адаптером «bullet» компанія SV Microwave/Amphenol розробила спеціальний інструмент № 500-80-014 (рис. 6в). Під час з'єднання плат центральний провідник адаптера «bullet» безпосередньо контактує з мікросмужковими лініями друкованих плат. Ковзне з'єднання забезпечує легке роз'єднання плат без застосування спеціального інструменту. Тому під час роз'єднання плат адаптер «bullet» залишається на платі з'єднаним із Shroud FD (для повного защеплення).

З'єднання плат, відстань між якими 3 мм, за допомогою адаптера «bullet» компанії SV Microwave/Amphenol має такі електричні параметри:

- робочий діапазон частот DC...40 ГГц;
- коефіцієнт стоячої хвилі напруги (КСХН) становить у діапазоні частот

DC...18 ГГц — 1.10, у діапазоні частот 18...40 ГГц — 1.30.

- величина внесених втрат 0.30 дБ на частоті 18 ГГц і 0.60 дБ на частоті 40 ГГц;

Запропоноване з'єднання забезпечує зазначені електричні параметри за осьового зсуву Shroud і адаптера до 0.127 мм і радіального зсуву — до 0.18 мм за мінімальної міжцентрової відстані між сусідніми з'єднувачами 3.81 мм. Допустима кількість з'єднань і роз'єднань — 500. Робочий діапазон температур — від -65 до +165 °С. Таке з'єднання не вимагає операції паяння, і тому не пошкоджує плати і забезпечує низькі зусилля з'єднання і роз'єднання плат.

З'єднання плат з мінімальною відстанню між ними (3 мм) ідеально підходить для використання в проектах із високою щільністю розміщення друкованих плат.

## ВИСНОВОК

Представлена в цій статті інформація про з'єднувачі компанії SV Microwave/Amphenol є прикладом активної роботи провідних компаній з удосконалення радіочастотних з'єднань.

Література:

1. <https://www.svmicrowave.com>

## ЗАХИЩЕНИЙ РОЗ'ЄМ USB3CFTV

Компанія **Amphenol Socarrex** випустила захищений роз'єм USB3CFTV, USB Type-C, заснований на стандарті MIL-DTL-38999 серії III. Це захищене рішення, призначене для використання в суворих умовах і складних сферах застосування, таких як військовий зв'язок, військові літаки, аерокосмічна галузь, комерційна авіація та військово-морська техніка.

З'єднувач оснащений механізмом з'єднання з різьбою Tri start, що забезпечує стійкість до ударів, вібрації та натягу кабелю. Роз'єм Amphenol Socarrex USB3CFTV призначений для захисту від рідин і пилу з класом захисту IP68, що забезпечує надійну роботу навіть в екстремальних умовах.

Роз'єм USB3CFTV є ідеальним рішенням для розробників, яким потрібна гнучкість стандарту USB Type-C і надійність роз'ємів Amphenol Socarrex. За допомогою цього роз'єму розробники можуть створювати широкий спектр конфігурацій для передачі даних, живлення та відео. Завдяки захисту від електромагнітних завод і 500 циклам з'єднання штекера з розеткою, роз'єм Amphenol Socarrex USB3CFTV забезпечує надійне і безпечне з'єднання в складних умовах експлуатації. Він також стійкий до соляного туману, має покриття, що відповідає вимогам ROHS, ударостійкий і працює в широкому діапазоні темпера °F, що робить його придатним для різноманітних складних застосувань.

В цілому, роз'єм Amphenol Socarrex USB3CFTV є міцним і надійним рішенням для передачі даних в суворих умовах, що робить його кращим вибором для військових, аерокосмічних і загальнопромислових застосувань, де довговічність, продуктивність і герметичність від факторів навколишнього середовища є критичними вимогами.

Роз'єм USB3CFTV вже доступний у Amphenol Socarrex та її авторизованих дистриб'юторів

Компанія Amphenol Socarrex з 1947 року розробляє, проектує і виробляє надійні та інноваційні рішення для з'єднання в суворих умовах, спеціалізуючись на стандартних і індивідуальних електричних і волоконно-оптичних роз'ємах, аксесуарах і кабельних рішеннях.

[www.amphenol.com](http://www.amphenol.com)